



T/CECS XXX—202X

中国工程建设标准化协会标准

桥梁及隧道工程用石灰石粉 应用技术规程

（拟改名：石灰石制砂尾料磨细粉混凝土
应用技术规程）

**Technical specification for application of ground limestone in bridg
and tunnel engineering**

（征求意见稿）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

前 言

本标准根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2021]11 号）文件要求，编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定了本标准。

本标准共分 8 章和 2 个附录。主要内容包括总则；术语与符号；石灰石制砂尾料磨细粉；混凝土材料；混凝土性能；配合比设计；施工；质量检验等。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理，由广西路桥工程集团有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中如有意见或建议，请寄送至广西路桥工程集团有限公司（地址：广西南宁市良庆区平乐大道 21 号，邮编：530200，邮箱：XXXXXXX）。

主 编 单 位：广西路桥工程集团有限公司

参 编 单 位：广西交建工程建设集团有限公司

桂林理工大学

同济大学

中国建筑科学研究院有限公司

武汉理工大学

江苏苏博特新材料科技有限公司

广西苏博特新材料股份有限公司

桂林鸿程矿山设备制造有限公司

广西大学

广西公路检测有限公司

主要起草人：韩 玉 秦大燕 解威威 杨占峰 明 阳 蒋正武 丁庆军 陈 正
夏京亮 任 强 陈 平 徐 文 李彩霞 青志刚 翁贻令 梁厚燃 池 浩 胡 雷 梁
健 任龙芳 梁 铭 胡以婵 荣北国 李 威 黄文胜 周富坚 罗雪霜 苏 萍 赵
爽

主要审查人：

目 次

1	总 则	6
2	术语与符号	7
2.1	术 语	7
2.2	符 号	7
3	石灰石制砂尾料磨细粉	9
3.1	石灰石制砂尾料	9
3.2	石灰石制砂尾料磨细粉	9
4	混凝土材料	11
5	混凝土性能	12
5.1	拌合物性能	12
5.2	力学性能	12
5.3	长期性能与耐久性能	12
6	配合比设计	13
6.1	一般规定	13
6.2	配合比设计	13
6.3	石灰石制砂尾料磨细粉掺量	14
7	施工	16
7.1	一般规定	16
7.2	混凝土的制备、运输、浇筑和养护	17
8	质量检验	18
8.1	石灰石制砂尾料磨细粉检验	18
8.2	其他混凝土原材料检验	18
8.3	混凝土拌合物性能检验	19
8.4	硬化混凝土性能检验	19
	附录 A 胶凝材料 D_{50} 及粒径分布测试方法	20

附录 B 基于紧密堆积原理的混凝土配合比设计方法	21
用词说明	22
引用标准名录	23
附：条文说明	25

Contents

1	General Provisions	6
2	Terms and Symbols	7
2.1	Terms	错误！未定义书签。
2.2	Symbols	错误！未定义书签。
3	Ground Powder from Limestone Manufactured Sand Tailing	9
3.1	Limestone Manufactured Sand Tailing	9
3.2	Ground Powder from Limestone Manufactured Sand Tailing	9
4	Concrete Components	11
5	Concrete Performance	错误！未定义书签。 2
5.1	Mixture Performance	错误！未定义书签。 2
5.2	Mechanical performance	错误！未定义书签。 2
5.3	Long-term and Durability	错误！未定义书签。 2
6	Mix Proportion	错误！未定义书签。 3
6.1	General Requirements	错误！未定义书签。 3
6.2	Proportioning Design	错误！未定义书签。 3
6.3	Dosage of Ground Powder from Limestone Manufactured Sand Tailing ..	错误！未定义书签。 4
7	Construction	错误！未定义书签。
7.1	General Requirements	错误！未定义书签。
7.2	Production, Transportation, Casting and Curing of Concrete	错误！未定义书签。 7
8	Quality Inspection	错误！未定义书签。
8.1	Inspection of Ground Powder from Limestone Manufactured Sand Tailing	错误！未定义书签。
8.2	Inspection of Other Concrete Components	错误！未定义书签。
8.3	Inspection of Concrete Mixture Performance	错误！未定义书签。

8.4 Inspection of Harden Concrete Performance	错误！未定义书签。
Appendix A:Test Method for D50 and Particle Size Distribution of Cementitious Materials	20
Appendix B:Concrete Mix Design Method Based on the Principle of Dense Packing	21
Explanation of wording	22
List of Quoted Standards	23
Addition: Explanation of Provisions	25

1 总 则

1.0.1 为了规范桥梁及隧道工程石灰石制砂尾料磨细粉混凝土施工和质量要求，使石灰石制砂尾料磨细粉混凝土施工符合技术先进、安全可靠、经济合理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于桥梁及隧道工程中石灰石制砂尾料磨细粉混凝土的设计、施工及质量验收。

1.0.3 对有特殊要求和在特殊环境条件下的桥梁及隧道工程石灰石制砂尾料磨细粉混凝土应用，除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定

。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 石灰石制砂尾料 limestone manufactured sand tailing

石灰石机制砂生产过程中分离出来的粉状材料。

2.1.2 石灰石制砂尾料磨细粉 ground powder from limestone manufactured sand tailing

以一定纯度的石灰石制砂尾料为原料，经分级粉磨至一定细度的粉状材料。

2.1.3 石灰石制砂尾料磨细粉混凝土 concrete with ground powder from limestone manufactured sand tailing

石灰石制砂尾料磨细粉作为矿物掺合料配制的混凝土。

2.1.4 石灰石制砂尾料磨细粉影响系数 influence coefficient of ground powder from limestone manufactured sand tailing

在推算掺石灰石制砂尾料磨细粉的胶凝材料 28 d 胶砂抗压强度时，用于折减水泥 28 d 胶砂抗压强度的系数，为无量纲的数值，记为 γ_L 。

2.1.5 中值粒径 (D_{50}) median particle size

样品中粒度累积分布百分数达到 50%时所对应的粒径。

2.2 符 号

f ——粒径小于 D 的固体颗粒理想累计通过曲线；

q ——粒径分布指数，取值范围 0.2~0.4，C30 宜取 0.32，C40 宜取 0.3，C50 宜取 0.28，超高性能混凝土宜取 0.22；

D_S 、 D_L ——固体颗粒中最小粒径、最大粒径；

i ——粒径编号，由 1~ n ，1 代表最小粒径， n 为最大粒径；

D ——颗粒粒径；

$f(D_i)$ ——粒径为 i 时的理论颗粒累计通过率；

$y(D_i)$ ——粒径为 i 时的实际颗粒累计通过率；

x_c ——水泥与固体总质量的比值；

x_f ——尾料磨细粉与固体总质量的比值；

x_s ——细骨料与固体总质量的比值；

x_{g1} 、 x_{g2} 、 x_{g3} ——分别为不同粒径粗骨料与固体总质量的比值；

$y_c(Di)$ 、 $y_f(Di)$ 、 $y_s(Di)$ 、 $y_g(Di)$ ——粒径小于 Di 的水泥、尾料磨细粉、细骨料、粗骨料颗粒累计通过率。

W/B ——混凝土水胶比；

m_c ——计算配合比每立方混凝土水泥用量；

m_f ——计算配合比每立方混凝土磨细尾料粉用量；

m_g ——计算配合比每立方混凝土粗骨料用量；

m_s ——计算配合比每立方混凝土细骨料用量；

m_w ——计算配合比每立方混凝土用水量；

m_{cp} ——每立方混凝土拌合物的假定质量，可取 2350~2450。

3 石灰石制砂尾料磨细粉

3.1 石灰石制砂尾料

3.1.1 石灰石制砂尾料的母岩料源不应混有草根、泥块等杂物，应严格控制料源中以上成分的含量。

3.1.2 机制砂尾料的碳酸钙含量、含水量、亚甲蓝值及总有机碳含量应符合表 3.1.2 的规定。

表 3.1.2 机制砂尾料技术要求

项目	技术指标	测试方法
碳酸钙含量（%）	≥ 75	GB/T 5762
含水量（%）	≤ 1.0	GB/T 35164
亚甲蓝值（g/kg）	≤ 1.4	GB/T 35164
总有机碳含量（%）	≤ 0.5	GB/T 35151

3.2 石灰石制砂尾料磨细粉

3.2.1 石灰石制砂尾料磨细粉应采用适用于粉磨石灰石为料源的粉体研磨设备研磨，宜与机制砂同步联产，成品粒度范围宜在 200 目~1600 目，研磨设备控制系统宜与机制砂生产控制系统集成。

3.2.2 石灰石制砂尾料磨细粉生产系统应由給料设备、一级选粉设备、研磨设备、二级选粉设备、收尘设备、输送设备和成品料仓等组成。

3.2.3 石灰石制砂尾料磨细粉应按照原料准备、分选、研磨、除尘和仓储的工艺进行生产控制，采用“先选后磨”工艺。

3.2.4 石灰石制砂尾料磨细粉的碳酸钙含量、细度、 D_{50} 、活性指数、流动度比、含水量、亚甲蓝值及总有机碳含量应符合表 3.2.4 的规定。

表 3.2.4 石灰石制砂尾料磨细粉技术要求

项目		技术指标	测试方法
碳酸钙含量（%）		≥ 75	GB/T 5762
细度（%）		≤ 15	GB/T 30190
$D_{50}(\mu\text{m})$		≤ 15	见附录A
活性指数（%）	7d	≥ 60	GB/T 30190
	28d	≥ 60	
流动度比（%）		≥ 100	GB/T 30190
含水量（%）		≤ 1.0	GB/T 35164
亚甲蓝值（g/kg）		≤ 1.4	GB/T 35164
总有机碳含量（%）		≤ 0.5	GB/T 35151

3.2.5 石灰石制砂尾料磨细粉的放射性核素限量应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的有关规定。

3.2.6 石灰石制砂尾料磨细粉中的碱含量应按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658 \text{K}_2\text{O}$ 计算值表示；当石灰石制砂尾料磨细粉用于碱活性骨料配制的混凝土而需要限制碱含量时，可由供需双方协商确定。

4 混凝土材料

4.0.1 通用硅酸盐水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。

4.0.2 粗骨料应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定；细骨料应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 的有关规定。

4.0.3 混凝土用水应符合《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定，且不应采用海水。

4.0.4 外加剂宜采用聚羧酸高性能减水剂，并应选择减水率高、坍落度损失小、与水泥及石灰石制砂尾料磨细粉具有良好的相容性、能明显改善或提高混凝土耐久性能且质量稳定的产品，符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规程》GB 50119 的有关规定。

4.0.5 混凝土膨胀剂应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的有关规定。

4.0.6 粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的有关规定；粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的有关规定；硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定。

5 混凝土性能

5.1 拌合物性能

5.1.1 石灰石制砂尾料磨细粉混凝土拌合物坍落度和扩展度的等级划分应符合现行国家标准《石灰石粉混凝土》GB/T 30190 的有关规定。

5.1.2 石灰石制砂尾料磨细粉混凝土凝结时间应满足施工要求。

5.1.3 当有抗冻要求时，掺加石灰石粉的混凝土宜掺用引气剂，且含气量实测值不宜大于 7%。

5.2 力学性能

5.2.1 掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土包含普通混凝土 C10、C15、C20、C25、C30、C40、C45、C50、C55；高强混凝土 C60、C65、C70、C75、C80、C85、C90、C95、C100；超高性能混凝土 UC100、UC120、UC140、UC160。

5.2.2 掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土强度应满足设计要求。

5.3 长期性能与耐久性能

5.3.1 当有预防碱骨料反应要求时，掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土应符合现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733 的有关规定。

5.3.2 在低温、硫酸盐侵蚀环境中，掺加石灰石制砂尾料磨细粉混凝土的性能应经试验确认。

5.3.3 掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土长期性能与耐久性能的试验方法，应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的有关规定。

5.3.4 掺加石灰石粉的混凝土的抗冻、抗硫酸盐侵蚀的等级划分，应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的有关规定。

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 混凝土配合比设计应符合国家现行标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ/T 55 的有关规定，宜使用基于紧密堆积原理进行混凝土配合比设计，见附录 B。

6.1.2 石灰石制砂尾料磨细粉混凝土的配合比按抗压强度进行设计，除满足抗压强度要求外，混凝土的抗弯拉强度、混凝土与钢筋的粘结强度等，还应符合桥梁及隧道相关设计和施工文件要求。

6.1.3 试验室进行石灰石制砂尾料磨细粉混凝土试配时，应采用强制搅拌机拌合。试验室确定的配合比应通过搅拌楼试拌检验后使用。

6.2 配合比设计

6.2.1 石灰石制砂尾料磨细粉混凝土减水剂掺量由试验确定，选定外加剂品种前，应检验外加剂与石灰石制砂尾料磨细粉的相容性。

6.2.2 石灰石制砂尾料磨细粉混凝土水用量应由试验确定，在配合比设计用水量的基础上宜适当降低 2~6%，按表 6.2.2 取值。

表 6.2.2 石灰石制砂尾料磨细粉掺量与减水率关系

掺量 (%)	减水率 (%)
10	≤2
20	2~4
30	4~6

6.2.3 水下混凝土宜适当增加胶凝材料用量，同比例增加石灰石制砂尾料磨细

粉用量，确保混凝土性能。

6.2.4 预应力混凝土配合比设计时应考虑石灰石制砂尾料磨细粉对收缩及徐变的影响。

6.2.5 抗渗混凝土配合比设计时应考虑石灰石制砂尾料磨细粉对抗渗性能的影响。

6.2.6 高性能与超高性能混凝土应考虑石灰石制砂尾料磨细粉对混凝土粘滞性的有利影响。

6.2.7 配合比计算时，胶凝材料 28d 胶砂抗压强度宜根据试验确定。当无 28d 胶砂抗压强度无实测值而按 JGJ 55 第 5.1 条计算胶凝材料 28d 胶砂强度，石灰石制砂尾料磨细粉影响系数可按表 6.2.7 取值。

表 6.2.7 石灰石制砂尾料磨细粉的影响系数

掺量（%）	影响系数
5	0.95
10	0.90
15	0.85
20	0.80
25	0.75
30	0.65

6.3 石灰石制砂尾料磨细粉掺量

6.3.1 石灰石制砂尾料磨细粉在混凝土中的掺量应通过试验确定。采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时，钢筋混凝土、预应力混凝土和超高性能混凝土中石灰石制砂尾料磨细粉掺量不宜大于表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 混凝土中石灰石制砂尾料磨细粉最大掺量

结构类型	水胶比	最大掺量（%）	
		采用硅酸盐水泥时	采用普通硅酸盐水泥时

结构类型	水胶比	最大掺量 (%)	
			泥时
钢筋混凝土	≤ 0.40	30	25
	> 0.40	25	20
预应力钢筋混凝土	≤ 0.40	25	20
	> 0.40	20	15
超高性能混凝土	/	50	/

6.3.2 普通混凝土中石灰石制砂尾料磨细粉掺量宜控制在 15%以内。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 掺加石灰石制砂尾料磨细粉的桥梁及隧道用混凝土的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

7.1.2 采用预拌方式生产的掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土应符合现行国家标准 GB/T 14902 的有关规定。

7.1.3 施工过程中，应做好混凝土生产记录、现场成型记录和养护记录。

7.1.4 原材料贮存与计量应符合下列规定：

1 石灰石制砂尾料磨细粉应单独采用密封罐贮存，并应防止受潮和被泥尘等其他杂物污染。

2 石灰石制砂尾料磨细粉贮存时间不宜超过 2 个月，超过 2 个月应进行细度及活性指数检测。

3 其他混凝土原材料的贮存应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

4 石灰石制砂尾料磨细粉和其他原材料的计量允许偏差应符合表 7.1.4 的规定，并应每班检查一次。

表 7.1.4 混凝土原材料计量允许偏差

原材料品种	水泥	骨料	水	外加剂	磨细石灰 石制砂尾 料磨细粉	其他掺合 料
每盘计量允许偏差（%）	±2	±3	±1	±1	±2	±2
累计计量允许偏差（%）	±1	±2	±1	±1	±1	±1

原材料品种	水泥	骨料	水	外加剂	磨细石灰 石制砂尾 料磨细粉	其他掺合 料
注：累计计量允许偏差是指每一运输车中每盘混凝土的每种材料计量和的偏差						

7.1.5 在原材料计量过程中，应根据粗、细骨料含水率的变化调整施工配合比。

7.2 混凝土的制备、运输、浇筑和养护

7.2.1 石灰石制砂尾料磨细粉宜与其他胶凝材料一起投料搅拌；投料顺序宜为粗细骨料、石灰石制砂尾料磨细粉与其他胶凝材料、水及减水剂。应采用强制式搅拌机搅拌，并应符合现行国家标准《混凝土搅拌机》GB/T 9142 的有关规定。

7.2.2 掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土搅拌时间宜适当延长，混凝土应搅拌均匀；同一盘混凝土的搅拌匀质性应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

7.2.3 在掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土拌合物的运输和浇筑过程中，严禁往拌合物中加水。

7.2.4 混凝土出机至浇筑入模之间的间隔时间不宜大于 75 分钟。

7.2.5 混凝土运输至现场时，不得出现明显离析或泌水现象。

7.2.6 振捣应保证混凝土密实、均匀，并应避免欠振、过振和漏振。

7.2.7 掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土浇筑后，应加强早期养护，避免混凝土失水引起早期裂缝。

7.2.8 混凝土需进行保湿养护。保湿养护可采用洒水、覆盖、喷涂养护剂等方式。养护方式应根据现场环境条件、结构特点、技术要求、施工工艺等因素确定。养护时间不应少于 14d。

7.2.9 冬期施工时，应符合《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的有关规定。

8 质量检验

8.1 石灰石制砂尾料磨细粉检验

8.1.1 石灰石制砂尾料磨细粉应以每 200t 为一个检验批，每个批次的石灰石制砂尾料磨细粉应来自同一厂家、同一料源；非连续供应不足 200t 应作为一个检验批。

8.1.2 取样按现行国家标准《水泥取样方法》GB/T 12573 的有关规定。可从 10 个以上不同部位等量取样，总量不应少于 5kg。

8.1.3 石灰石制砂尾料磨细粉用于混凝土生产前应进行进场检验，检验项目符合表 8.1.3 的规定。

表 8.1.3 进场检验项目

试验类别	必检项目	可检项目
进场检验	碳酸钙含量、细度、D ₅₀ 、活性指数、流动度比、含水量、MB 值	碱含量、总有机碳含量

8.1.4 同一厂家生产的料源稳定的石灰石制砂尾料磨细粉在首次进场检验合格后，后续的进场检验项目可与出厂检验项目相同。

8.2 其他混凝土原材料检验

8.2.1 水泥进场应提供出厂合格证及出厂检验报告等质量证明文件，并进行检验。检验项目及检验批量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

8.2.2 骨料进场时应进行检验。普通混凝土用骨料检验项目及检验批量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

8.2.3 混凝土用水检验项目应符合 JGG 63 的有关规定，检验批应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

8.2.4 外加剂进场应提供出厂检验报告等质量证明文件，并应进行检验。检验项目及检验批量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

8.2.5 矿物掺合料应提供出厂检验报告等质量证明文件，并应进行检验。检验项目及检验批量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

8.3 混凝土拌合物性能检验

8.3.1 在生产和施工过程中，应在搅拌地点和浇筑地点分别对混凝土拌合物进行抽样检验。当混凝土拌合物从搅拌机出料起至浇筑入模的时间不超过 15min 时，其拌合物可仅在搅拌地点取样检测。

8.3.2 混凝土拌合物的检验频率应符合下列规定：

- 1 混凝土坍落度检验取样频率应符合《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定；
- 2 同一工程、同一配合比混凝土的凝结时间应至少检验 1 次；
- 3 同一工程、同一配合比混凝土的氯离子含量应至少检验 1 次。

8.4 硬化混凝土性能检验

8.4.1 掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定。

8.4.2 掺加石灰石制砂尾料磨细粉的混凝土长期性能和耐久性检验评定应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的有关规定。

附录 A 胶凝材料 D_{50} 及粒径分布测试方法

A.0.1 本测试方法适用于粉体 D_{50} 及粒径分布的测试。

A.0.2 仪器设备和材料应符合下列规定：

- 1 烘箱温度控制在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；
- 2 激光粒度分析仪量程为 $0.02 \sim 2100\mu\text{m}$ ，重复性误差 $< 1\%$ ；
- 3 辅助工具为药匙；
- 4 测试材料为胶凝材料粉体、蒸馏水或纯净水。

A.0.3 试验室温度控制为 $10 \sim 30^\circ\text{C}$ ，湿度低于 85% 。

A.0.4 试验步骤应符合下列规定：

- 1 称取试样 10g ，准确至 0.1g ，在烘箱中于 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重，冷却至室温。
- 2 开启激光粒度分析仪，选择并运行 SOP（标准操作流程），在进入等待添加样品状态时，用药匙取少量试样加入湿法加样槽，当遮光比指示柱体颜色为绿色，开始测试。
- 3 自动测量三次后得到平均结果，选取平均结果测量记录，选择粒度测试报告，获取 D_{50} 数值及粒径分布结果。

附录 B 基于紧密堆积原理的混凝土配合比设计方法

B.0.1 本设计方法适用于混凝土配合比设计。

B.0.2 设计方法应符合下列规定：

1 最紧密堆积原理应按照 Modified Andreasen & Andersen (MAA)模型确定，如式 B.1。采用最小二乘法求实际颗粒粒径分布下累计通过率与理想值差值平方和的最小值，按式 B2-B3 计算，当 ε 最小时，堆积密度最大。

$$f = \frac{D^q - D_S^q}{D_L^q - D_S^q} \quad (\text{B.1})$$

$$y(D_i) = x_c y_c(D_i) + x_f y_f(D_i) + x_s y_s(D_i) + x_{g1} y_{g1}(D_i) + x_{g2} y_{g2}(D_i) + x_{g3} y_{g3}(D_i) \quad (\text{B.2})$$

$$\min \varepsilon = \sum_{i=1}^n (f(D_i) - y(D_i))^2 \quad (\text{B.3})$$

式中：粒径单位为 mm；通过率单位为%。

2 对水泥、尾料磨细粉等胶凝材料及细骨料中小于 0.075mm 的颗粒采用附录 A 的方法测定粒径分布；检测粗细骨料的粒径分布，确定最大颗粒粒径 D_L 与最小颗粒粒径 D_S 。

3 针对上述原材料建立统一的颗粒粒径累计通过率数据库。

4 利用软件建立 MAA 模型，将胶凝材料用量上限作为 MAA 模型的计算边界条件，同时也可根据经验将胶凝材料范围作为附加边界条件，而后通过软件求解获得混凝土的理论配合比。

5 每方混凝土中水泥、粗细骨料、水的用量按照式（B.4、B.5、B.6）计算，用量单位为 kg。

$$W/B = \frac{m_w}{m_c + m_f} \quad (\text{B.4})$$

$$m_c + m_f + m_g + m_s + m_w = m_{cp} \quad (\text{B.5})$$

$$x_c + x_f + x_s + x_{g1} + x_{g2} + x_{g3} = 1 \quad (\text{B.6})$$

6 上述所获取的配合比，根据经验调整水、减水剂的掺量，经过试配后确认混凝土拌合物的工作性满足要求，优化确定混凝土的各组分用量。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082

《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107

《混凝土外加剂应用技术规程》GB 50119

《混凝土质量控制标准》GB 50164

《混凝土结构工程施工规范》GB 50666

《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733

《通用硅酸盐水泥》GB 175

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

《建材用石灰石、生石灰和熟石灰化学分析方法》GB/T 5762

《建筑材料放射性核素限量》GB 6566

《混凝土搅拌机》GB/T 9142

《水泥取样方法》GB/T 12573

《建设用砂》GB/T 14684

《建设用卵石、碎石》GB/T 14685

《预拌混凝土》GB/T 14902

《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046

《混凝土膨胀剂》GB/T 23439

《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690

《石灰石粉混凝土》GB/T 30190

《石灰石中总有机碳的测定方法》GB/T 35151

《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164

《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ/T 55

《混凝土用水标准》 JGJ 63

《建筑工程冬期施工规程》 JGJ/T 104

《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193

中国工程建设标准化协会标准

桥梁及隧道工程用石灰石粉应用技术规程

条文说明

制 定 说 明

本规程制定过程中，编制组进行了大量的调查研究，调研分析我国多地区石灰石制砂尾料性能，总结了石灰石制砂尾料磨细粉混凝土应用的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，通过对机制砂尾料再加工形成尾料磨细粉，并开展尾料磨细粉各项性能参数试验确定对应技术指标，通过尾料磨细粉掺量对混凝土性能影响试验提出了磨细粉混凝土配合比关键技术成果并形成指标。

本规程遵循科学性、承接性和可操作性的原则，针对石灰石制砂尾料性能不稳定，难以再利用，废弃污染问题，提出将制砂尾料再加工成为制砂尾料磨细粉，并形成尾料磨细粉混凝土材料、配合比设计、施工、检测等成套技术，采用调研与试验研究相结合的方式，围绕尾料磨细粉性能指标、尾料磨细粉混凝土配合比设计及施工等重要问题开展研究，并将所取得的原创性技术成果加以提炼。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1 总 则	28
2 术语与符号	29
3 石灰石制砂尾料磨细粉	30
3.1 石灰石制砂尾料	30
3.2 石灰石制砂尾料磨细粉	30
4 混凝土材料	36
5 混凝土性能	37
6 配合比设计	38
6.1 一般规定	38
6.2 配合比设计	38
6.3 石灰石制砂尾料磨细粉掺量	39
7 施工	41
7.1 一般规定	41
7.2 混凝土的制备、运输、浇筑和养护	41
附录 B 基于紧密堆积原理的混凝土配合比设计方法	42

1 总则

1.0.1 目前我国公路工程中作为大宗固体废弃物的石灰石机制砂尾料浪费污染问题较为突出。虽然现行国家标准对石灰石粉在混凝土中的应用有着有关规定，但机制砂尾料品质参差不齐的特点（见表 1-1，表 1-2）使其还需进一步进行处理及明确其应用条件与标准，而后才可用作混凝土掺合料应用于公路工程中。但现行规范中缺乏相匹配的规定，造成了大量的资源的浪费以及相应的环境污染问题。为解决机制砂尾料所带来的以上问题，将其处理形成石灰石制砂尾料磨细粉作为混凝土掺合料以应用于混凝土工程中，并为相关应用的设计、施工及验收提供重要支撑，满足公路工程混凝土性能多样化需求。

表 1-1 区外机制砂尾料粒径特点

省市	细度	D ₅₀	D ₉₀
云南(YN)	4	12.529	36.397
湖北(HB)	62	54.225	96.014
湖南(HN)	22	16.245	81.138
重庆(CQ)	4	14.154	34.411

表 1-2 区内机制砂尾料粒径分布

项目	百分比		
	小 于45μm	45μm~75μm	大于75μm
MX1	74.25	4.85	20.9
MX2	61.57	20.14	18.29
XLN7	70.05	8.19	21.76
XLN11	90.46	5.09	4.45
LD	80.07	8.81	11.12
WL	66.59	16.27	17.14
DB	66.72	14.73	18.55

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 石灰石制砂尾料，机制砂生产过程中，将不可避免地产生大量颗粒细小的石粉（一般粒径 $\leq 75\mu\text{m}$ ），占制砂原材总量的 15~20%，依据现行标准《建设用砂》中的有关规定，机制砂中允许含有 10%以内的石粉，多余的石粉被分离出来无法直接利用，以石灰岩为主的碳酸盐类为主的上述石粉称为石灰石制砂尾料。

3 石灰石制砂尾料磨细粉

3.1 石灰石制砂尾料

3.1.1 石灰石制砂尾料的生产流程为矿源（石灰岩）-机制砂/机制砂尾料-石灰石制砂尾料磨细粉，生产机制砂与尾料磨细粉同步，如图 3-1。

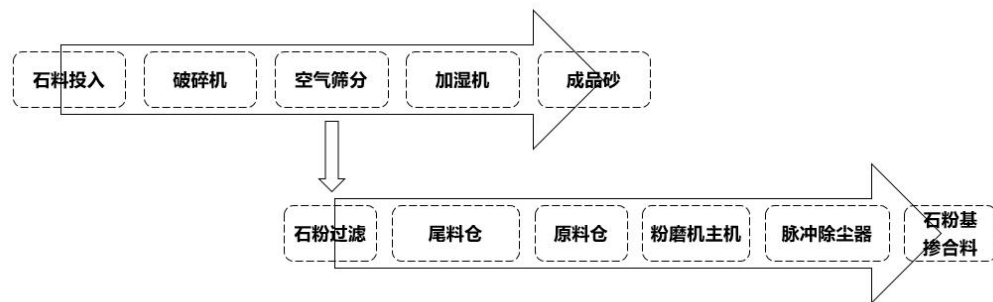


图 3-1 机制砂尾料研磨处理工艺图

提出对机制砂矿源的质量控制要求，避免源头石灰岩所含杂质多，对后续的成品质量造成的不利影响，也避免粘土种类及含量对制砂尾料的值及后续混凝土的性能造成的不利影响。

3.1.2 增加制砂尾料的控制指标，结合制砂尾料磨细粉的指标，严格控制含水量及亚甲蓝值，提高磨细粉的生产效率及成品量。

3.2 石灰石制砂尾料磨细粉

3.2.1 生产前应根据石灰石制砂尾料磨细粉技术要求进行试生产（图 3-2），确定综合效率和能耗。

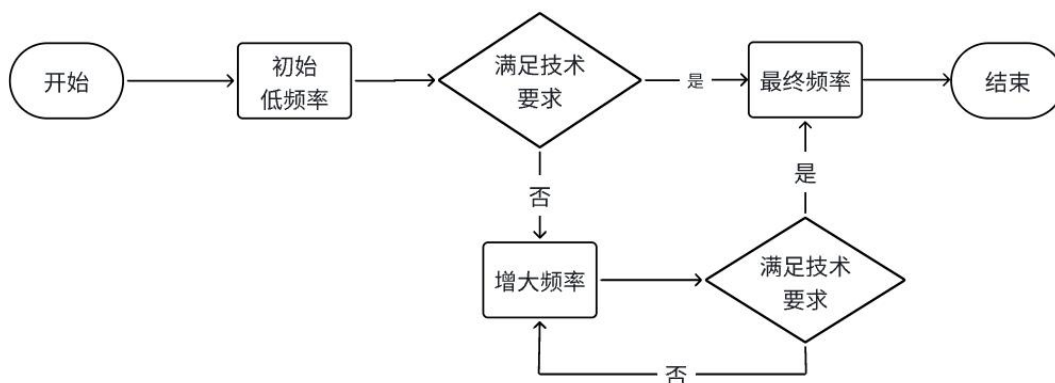


图 3-2 试生产流程图

石灰石制砂尾料磨细粉原料——机制砂尾料为一种粉体材料，设备宜采用粉体研磨设备。结合实际工程，通过连接管将机制砂尾料直接从制砂生产线储存罐输送至研磨设备原料罐，同时将两种设备生产控制系统集成，形成一体化生产设备，实现粉体研磨设备与机制砂生产设备同步联产，避免原材料转运同时降低生产成本，提升生产效率。设备成品粒度最大值给了成品粒径调整的余地，但粒径过小时，生产产量减小，耗能增大，因此设定 1600 目为成品粒度最大值，同时粒度范围在 200 目~1600 目可保证 $10\mu\text{m} < \text{成品粒径} < 75\mu\text{m}$ ，满足细度技术要求。

3.2.3 石灰石制砂尾料磨细粉应按照原料准备、分选、研磨、除尘和仓储的工艺（图 3-3）进行生产控制。

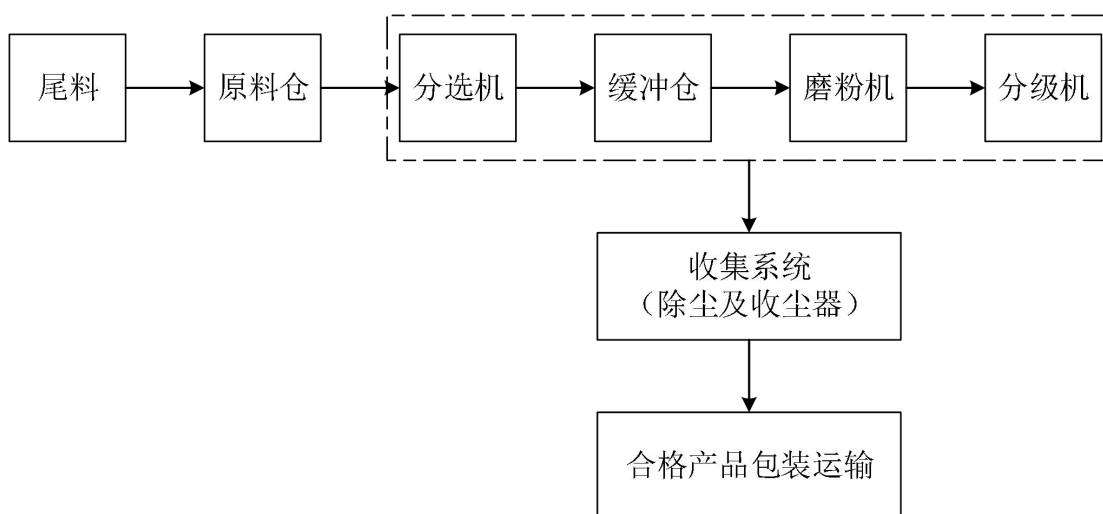


图 3-3 石灰石制砂尾料磨细粉工艺流程图

“先选后磨”工艺即为在磨粉机前端增加一道分选步骤，通过第一分选机进行分

选，将合格的机制砂尾料直接通过第一连通管送入收集器，将不合格的机制砂尾料通过第一螺旋输送机送入磨粉机，如图 3-4，避免了合格机制砂尾料再次进入磨粉机，减少设备损耗，提高工作效率。

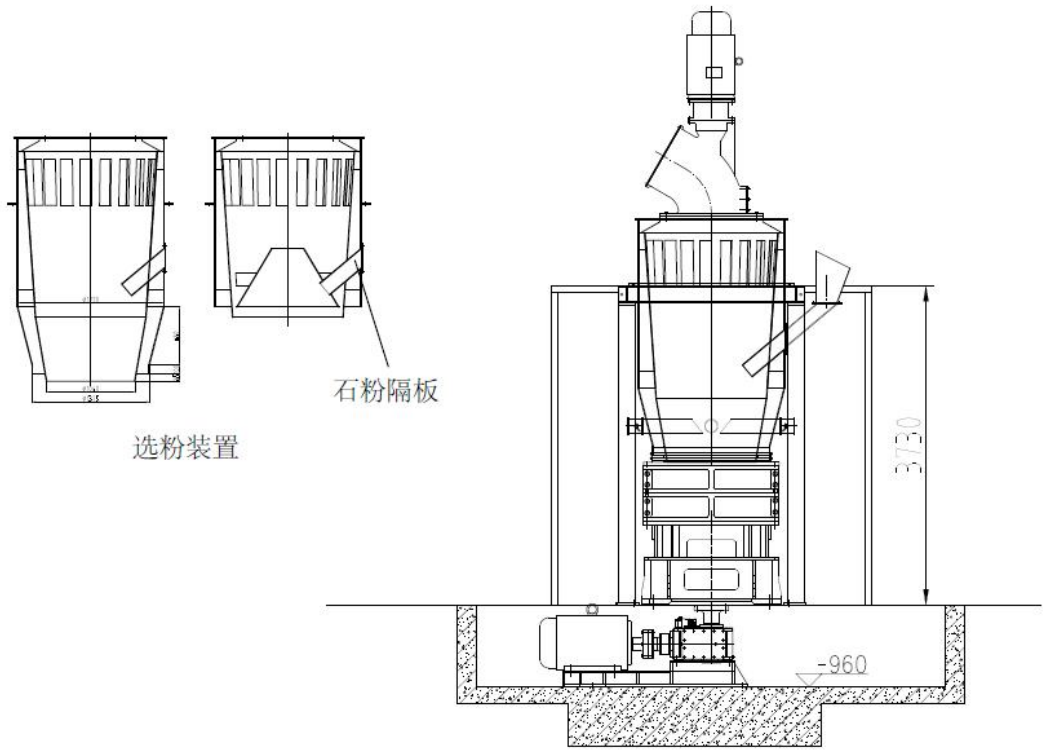


图 3-3 先选后磨装置

3.2.4 本条新增 D_{50} 、总有机碳含量指标，同时对细度及活性指数进行验证。

1. D_{50} : D_{50} 为中值粒径，表示样品中小于该值的颗粒质量占总样品质量的 50%。结合研磨过后的制砂尾料，颗粒粒径较小的特点， $45\mu\text{m}$ 方孔筛筛余基本小于 15%， D_{50} 基本小于 15%，新增粒径分布 D_{50} 指标，有利于掺合料粒径的表达。

2. 总有机碳含量: 机制砂尾料矿源来源广泛，既有山区矿山，也有隧道，其中部分含有有机碳，将可能对混凝土外观造成不利影响，因此需严格控制总有机碳含量。

3. 细度及活性指数: 根据对机制砂尾料的研磨，并进行检测，包括其细度、28d 活性指数，同时结合设备产能，提出细度指标等于或小于 15%；28d 活性指数指标等于或大于 60%。

4. 试验验证结果:

石灰石制砂尾料磨细粉的技术指标中，着重对细度与 28d 活性指数进行研究分析。对三个项目的频率——细度-活性指数进行分析，结果见表 4-1 及图 4-1。

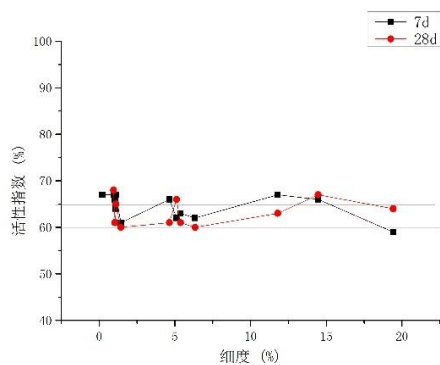
表 4-1 项目检测试验结果表

项目	频率/HZ	粒径特征值		活性指数/%	
		45μm筛余/%	D ₅₀ /μm	7d	28d
MX2-1	8	5.11	12.939	62	61
MX2-1	8.3	11.79	14.38	67	67
MX2-1	8.7	4.64	13.154	66	66
MX2-1	9	1.06	12.024	64	65
MX2-1	9.5	5.37	13.628	59	60
MX2-1	10	1.11	12.421	67	60
MX2-1	10.33	1.04	11.559	66	61
MX2-1	10.7	0.95	11.798	64	61
MX2-1	11	0.2	11.577	67	68
MX2-1	11.5	1.43	13.125	61	61
MX2-1	12	6.33	14.638	62	63
LD2-1	7	0.54	9.882	67	63
LD2-1	7.33	13.59	12.27	63	62
LD2-1	7.67	11.03	11.755	72	69
LD2-1	8	0	9.623	71	69
LD2-1	8.5	0	8.986	69	68
LD2-1	9	0	9.296	66	65
LD2-1	9.5	0	8.668	64	63
LD2-1	10	0	9.223	67	66
LD2-1	10.5	0	8.968	71	63
LD2-1	11	2.39	10.621	65	64

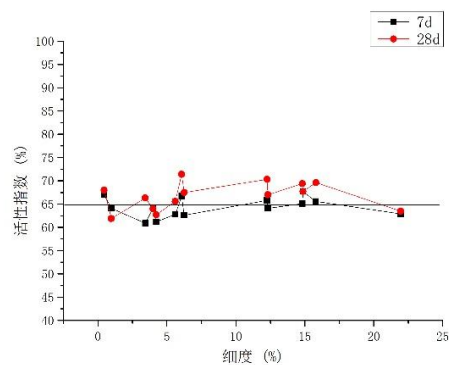
LD2-1	11.33	2.13	9.891	63	62
LD2-1	11.67	1.88	10.124	67	64
LD2-1	12	7.69	11.73	63	60
LD2-4	7	21.96	14.957	62.9	63.5
LD2-4	7.33	14.86	13.348	67.7	67.7
LD2-4	7.67	14.82	13.2	65.1	69.4
LD2-4	8	15.8	13.897	65.6	69.6
LD2-4	9	12.26	13.19	65.8	70.3
LD2-4	9.5	12.32	13.158	64.1	67
LD2-4	10	6.07	12.146	66.7	71.4
LD2-4	10.5	6.25	11.846	62.6	67.5
LD2-4	11	5.61	11.325	62.8	65.6
LD2-4	11.3	3.43	11.404	60.9	66.3
LD2-4	11.7	4.23	12.398	61.2	62.7
LD2-4	12	3.99	11.525	64.1	64
LD2-4	13	0.45	9.895	67	68
LD2-4	14	0.97	9.979	64.1	61.9
LD2-4	15	0	9.27	62.6	68.4
LD2-4	16	0	8.614	67	64.8
LD2-4	17	0	8.112	66.5	69.8
LD2-4	18	0	8.163	68	69
LD2-4	20	0	8.558	65.3	67.6
LD2-4	25	0	7.446	68	67.4
LD2-4	30	0	6.585	70.4	70.3
LD2-4	35	0	5.785	69	66.6

由表 4-1，不同项目及频率下，石灰石制砂尾料磨细粉的 D_{50} 均小于 $15\mu\text{m}$ 。

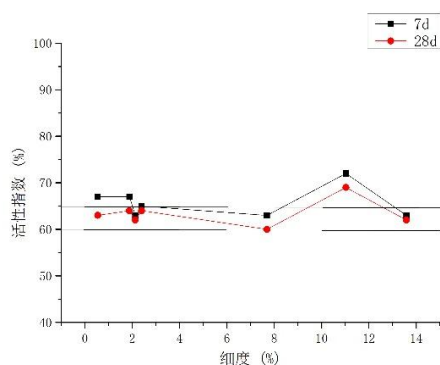
对三个项目的细度-活性指数进行分析，如图 4-1。



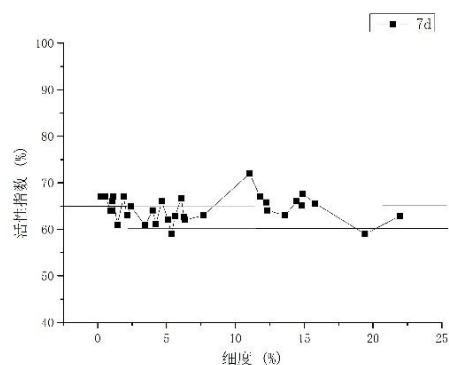
a、MX2-1



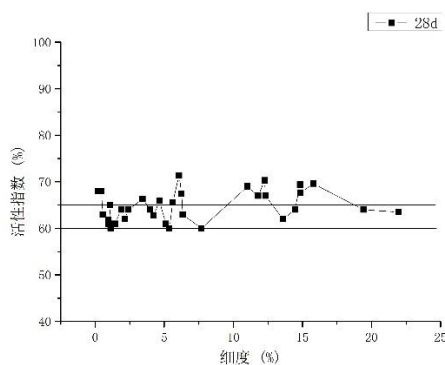
b、LD2-4



c、LD2-1



d、QB-7d



e、QB-28d

图 4-1 细度-活性指数图

图 a、b、c 分别为 MX2-1，LD2-4，LD2-1 项目不同细度下的活性指数，图 d 为 4 个项目 7d 活性指数，图 e 为 4 个项目 28d 活性指数，根据图 4-1，四个项目 7d、28d 活性指数在细度为 15% 以内基本无变化，且大于 60%，因此取 7d、28d 活性指数为 60%。

4 混凝土材料

4.0.4 提出适合石灰石制砂尾料磨细粉混凝土的减水剂，并提出控制指标。

5 混凝土性能

5.2 力学性能

5.2.1 现行《石灰石粉混凝土》GB/T 30190 将石灰石粉混凝土强度等级分为 C10-C80，在强度上包含了普通混凝土、高强混凝土。但根据调研，目前石灰石粉已作为掺合料成功应用于超高性能混凝土，作为同类型产品的石灰石制砂尾料磨细粉，本单位也实现了其在实际工程中的应用，因此增加包含超高性能混凝土的条例。

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 紧密堆积原理主要是通过紧密堆积模型实现颗粒之间的最大堆积密实度。

6.2 配合比设计

6.2.2 石灰石制砂尾料磨细粉掺量与减水率的关系表是按照《混凝土外加剂》GB/T 8076 减水剂率测定方法开展相关试验验证得出的，具体试验结果如表 6-1：

表 6-1 配合比数据（kg/m³）

	水泥	石灰石粉	砂	石	减水剂	水	坍落度 /mm	减水率 /%
基准组	350	0	813	1077	5.25	152	180	/
10%	315	35	813	1077	5.25	149	185	2%
20%	280	70	813	1077	5.25	146	180	4%
30%	245	105	813	1077	5.25	142	185	6%

6.2.4 预应力混凝土的收缩徐变性能中，石灰石制砂尾料磨细粉填充、稀释和化学作用均能降低混凝土的总收缩，但石灰石制砂尾料磨细粉的粒径越小或者掺量越大，石灰石粉的晶核效应越明显，因此在配合比设计时应控制石灰石制砂尾料磨细粉的粒径与掺量，控制混凝土的自收缩。

6.2.5 抗渗混凝土的性能受石灰石制砂尾料磨细粉的稀释作用较为明显，当为稀释作用时，水泥基材料的抗水渗透性和抗氯离子渗透性将随石灰石粉掺量的增大而减弱，为晶核作用、填充作用和化学作用时，抗水渗透性和抗氯离子渗透性随石灰石粉掺量的增大而增强，因此在配合比设计时应采用粒径应小于水泥颗粒粒径的石灰石制砂尾料磨细粉，降低其稀释作用，增加其晶核作用、填充作用和化学作用。

6.2.6 超高性能混凝土水胶比较低，粘滞性较高，石灰石制砂尾料磨细粉因其不参与水化反应，且拥有不吸水性，使得胶凝体系中自由水相对增多，降低混凝土的粘滞性。

6.2.7 《石灰石粉混凝土》（GB/T 30190）规定了普通硅酸盐水泥掺加石灰石粉的影响系数。应符合编制组针对影响系数对三个细度的石灰石制砂尾料磨细粉进行掺量-胶砂抗压强度比进行试验研究，采用胶砂试验。

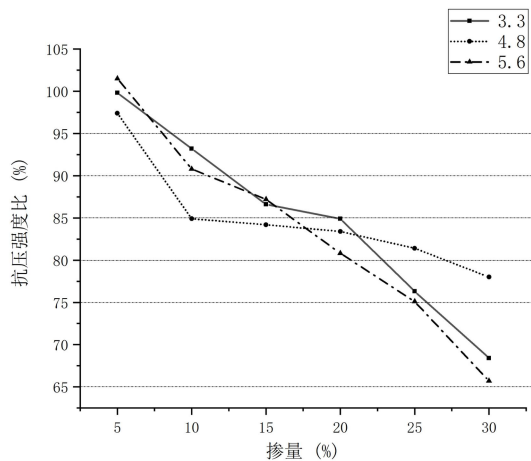


图 6-1 不同细度：掺量-胶砂抗压强度比

由图 6-1，得影响系数。试验值基本在影响系数指标值上，参考国家标准《石灰石粉混凝土》GB/T 30190，但增加 5%，其中试验值均大于 97%，因此取值为 95%；同时增加 30%的掺量影响系数为 0.65。

6.3 石灰石制砂尾料磨细粉掺量

6.3.1 采用尾料磨细粉配制超高性能混凝土，设计强度为 120 MPa，配合比如表 6-2。强度值见表 6-3。在掺量 50%时，抗压强度达到 138.9 MPa，满足设计强度。因此补充超高性能混凝土的最大掺量为 50%。

表 6-2 不同掺量配合比

掺量 (%)	水泥	磨细制砂 尾料	硅灰	FA微珠	超细石 灰石粉	石英砂		水	减水剂
						C40-100	C16-26		
25%	463.21	257.35	51.47	102.94	154.4	700.64	511.96	164.69	20.58

50%	360.27	360.27	51.47	102.94	154.4	700.64	511.96	164.69	20.58
-----	--------	--------	-------	--------	-------	--------	--------	--------	-------

表 6-3 不同掺量混凝土强度

掺量 (%)	抗折强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)
25	20.4	127.1
50	19.3	138.9

7 施工

7.1 一般规定

7.1.4 石灰石制砂尾料磨细粉颗粒小，容易受潮结团，需要单独使用密封罐贮存；限定 2 个月的贮存时间，保证石灰石制砂尾料磨细粉的性能。

7.2 混凝土的制备、运输、浇筑和养护

7.2.1 顺序投料，促使混凝土拌合物均匀搅拌。

附录

案例

1 确定混凝土的原材料选择及原材料粒径分布，见表 B-1。

表 B.1 颗粒粒径累计通过率数据库

粒径 D (μm)	水泥累计通 过率 $y_c(Di)/\%$	磨细粉累计 通过率 $y_f(Di)/\%$	细骨料累计 通过率 $y_s(Di)/\%$	粗骨料 1 累计 通过率 $y_{g1}(Di)/\%$	粗骨料 2 累计 通过率 $y_{g2}(Di)/\%$	粗骨料 3 累 计通过率 $y_{g3}(Di)/\%$
0.02	0	0	0	0	0	0
0.03	0	0	0	0	0	0
0.04	0	0	0	0	0	0
0.05	0	0	0	0	0	0
0.06	0	0	0	0	0	0
0.08	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0
0.13	0	0	0	0	0	0
0.16	0	0	0	0	0	0
0.2	0	0	0	0	0	0
0.26	0	0	0	0	0	0
0.32	0	0	0	0	0	0
0.41	0	0	0	0	0	0
0.52	0	0	0	0	0	0
0.65	0.17	0	0.02	0	0	0
0.83	0.72	0.1	0.07	0	0	0
1.05	1.34	0.46	0.12	0	0	0
1.32	1.79	1.36	0.17	0	0	0
1.67	2.32	3.05	0.27	0	0	0
2.12	3.15	5.8	0.42	0	0	0
2.68	4.38	9.88	0.62	0	0	0
3.39	6.17	15.93	0.86	0	0	0
4.28	8.65	24.98	1.18	0	0	0
5.42	11.99	37.37	1.63	0	0	0
6.85	16.28	52.69	2.16	0	0	0
8.66	21.26	69.26	2.82	0	0	0
10.95	27.17	83.85	3.72	0	0	0
13.85	35.06	93.76	4.7	0	0	0
17.52	44.91	98.51	5.57	0	0	0
22.16	55.95	99.84	6.42	0	0	0

28.02	67.9	100	7.31	0	0	0
35.44	79.54	100	8.2	0	0	0
44.82	89.01	100	8.97	0	0	0
56.68	95.36	100	9.77	0	0	0
71.69	98.66	100	10.76	0	0	0
90.66	99.8	100	11.78	0	0	0
114.65	100	100	12.93	0	0	0
145	100	100	14.25	0	0	0
183.38	100	100	15.43	0	0	0
231.91	100	100	16.22	0	0	0
293.3	100	100	16.55	0	0	0
370.92	100	100	16.6	0	0	0
469.1	100	100	16.6	0	0	0
593.26	100	100	16.6	0	0	0
600	100	100	16.6	0	0	0
750.28	100	100	39	0	0	0
948.86	100	100	39	0	0	0
1180	100	100	39	0	0	0
1200	100	100	55	0	0	0
1517.61	100	100	55	0	0	0
1919.29	100	100	55	0	0	0
2100	100	100	55	0	0	0
2360	100	100	55	0	0	0
4750	100	100	65	0	0	0
9500	100	100	100	100	0	0
19500	100	100	100	100	100	0
31500	100	100	100	100	100	100

2 确定分布模 q ，确定胶凝材料及骨料边界。

采用 $q=0.3$ ，水泥边界设定：12.17%~13.33%，磨细粉边界设定为：2.15%~2.33%，砂率边界设定 32.89~37.11%。

3 利用软件对 D-F 方程进行建模，模型结果见图 B-1。

Results of optimization					
Save About Back to...					
Material	Vol%	Mass%	Density	SSA	Price per MT
cement	11.98	13.33	3.068	NA	NA
MOXI LS	2.22	2.15	2.67	NA	NA
jingpin sand	37.11	36.86	2.74	NA	NA
stone20	18.91	18.51	2.7	NA	NA
stone10	12.15	11.89	2.7	NA	NA
stone5	17.63	17.26	2.7	NA	NA
Batch:	100	100	2.7583	NA	NA
d(CPFT) of batch: d(10%) = 24.42 um d(25%) = 464.95 um d(50%) = 4139.96 um d(75%) = 12743.09 um d(90%) = 23304.13 um					
Fit quality:	Cor. coeff. =	0.9975	Fine-Tuning in Ma%		
	Sum sq. dev. =	124.65	Open/close plot	Model info	Fine-Tuning in Vol%

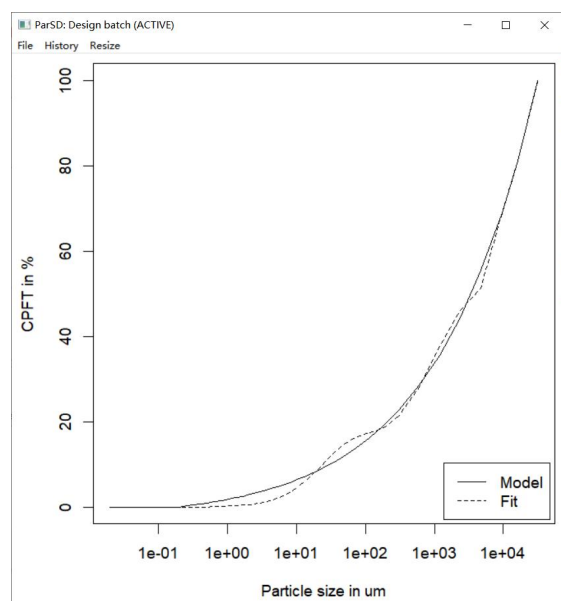


图 B-1 D-F 模型计算结果

4 计算得到混凝土理论配合比，见表 B-2。

B-2 理论配合比

C30	水泥	磨细粉	中砂	4.75-9.5 碎石	9.5-16 碎石	16-31.5 碎石	水	减水剂
质量 (kg)	298	49	824	386	266	414	163	5
占比 (%)	13.33%	2.15%	36.86%	17.26%	11.89%	18.51%		

5 基于上述所获取的理论组分配合比，经过试配调整水、减水剂的掺量以使混凝土拌合物的工作性满足要求，择优确定每方混凝土的各组分用量。